不同地区转 Bt 基因抗虫水稻稻谷对赤拟谷盗生长发育的影响*

姚英娟[1**] 徐雪亮[1] 严 寒[2] 蔡万伦[3] 林拥军[4] 华红霞[3***]

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所 南昌 330200;2. 江西省农业科学院农产品质量安全与标准研究所 南昌 330200;3. 华中农业大学城市有害生物防治研究所 武汉 430070;4. 华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室 武汉 430070)

摘 要 为了明确来自湖北武穴、孝感、随州 3 个不同地区的转 *cry1Ab/cry1Ac*、*cry2A*、*cry1C* 基因明恢 63(分别命名为 TT51、T2A-1 和 T1C-19)对赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* Herbst 生长发育的影响,在室内以不同的转 Bt 基因稻谷继代饲养赤拟谷盗 6 代,结果表明:各处理赤拟谷盗的卵期 3 ~ 4 d,卵孵化率 85% ~ 100%,幼虫期 22 ~ 27 d,化蛹率 85% ~ 97%,蛹期 6 ~ 7 d,百蛹重 0.25 ~ 0.31 g,性比 0.8 ~ 1.4,羽化率 82% ~ 97%,产卵前期 5 ~ 7 d。不同抗虫转基因水稻对赤拟谷盗各发育历期及生命表参数没有显著的影响,同一转基因事件,没有因为种植地区的不同造成对赤拟谷盗生长发育的差异。3 种 Bt 蛋白在继代饲养的赤拟谷盗幼虫体内检测均呈阳性反应,但积累量很小,继代饲养后,没有发现在赤拟谷盗体内明显的累积。

关键词 转 Bt 基因水稻,赤拟谷盗,生长发育,安全性评价

Influence of transgenic Bt rice on the growth and development of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae)

YAO Ying-Juan[1**] XU Xue-Liang[1] YAN Han[2] CAI Wan-Lun[3]
LIN Yong-Jun[4] HUA Hong-Xia[3***]

(1. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2. Institute of Quality Safety and Standard of Agricultural Products, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 3. Institute of Urban Pest Control, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 4. National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract The effect of the transgenic Bt rice Shanyou 63 with *cry1Ab/cry1Ac*, *cry2A* and *cry1C* (TT51, T2A-1 and T1C-19) on the growth and development of *Tribolium castaneum* Herbst was investigated using rice from three different areas (Wuxue, Xiaogan and Suizhou in Hubei Province). The results show that the duration of the egg, larval, pupal and preoviposition stages were 3 to 4 days, 22 to 27 days, 6 to 7 days and 5 to 7 days, respectively. Hatchability, pupation rate and emergence rate were 85% to 100%, 85% to 97% and 82% to 97%, respectively. The weight of 100 pupae was 0.25 to 0.31 g and the sex ratio was 0.8 to 1.4. No significant differences were found among the different rice varieties. All three Bt proteins could be detected in *T. castaneum* larvae, but the accumulated amount was very small. There was no significant accumulative effect despite larvae being reared on these strains.

Key words transgenic Bt rice, *Tribolium castaneum*, growth and development, safety evaluation

水稻作为人类主要口粮之一,转基因水稻安全性备受关注,有关转基因水稻生态安全性研究尤为必要。因此,在转基因水稻商品化生产之前,进行系统、科学的生态安全性评价刻不容缓。转

* 资助项目:国家重大科技专项(2011ZX08001-001,2008ZX08001-001)、江西省自然科学基金(20122BAB204025)。

** E-mail: yaoyingjuan@webmail.hzau.edu.cn

*** 通讯作者,E-mail:huahongxia@mail.hzau.edu.cn

收稿日期:2011-08-05,接受日期:2011-08-30

Bt 稻生态安全评价研究包括在生长期(大田阶段)生态安全评价和转 Bt 稻产后生态安全评价。目前对转 Bt 稻生长期生态安全评价主要包括了对靶标害虫的影响(Tu *et al.*, 2000; Ye *et al.*, 2001; Khanna and Raina, 2002; 李冬虎等, 2004)、对非靶标害虫及天敌的影响(傅强等, 2003; 焦晓国等, 2006)及对稻田节肢动物群落多样性的影响(刘志诚等, 2003a, 2003b; 刘雨芳和尤民生, 2004)。

作为水稻生产与销售中的一个重要环节——粮食储藏,少有对转 Bt 水稻稻米在储藏期评价的报道。转基因稻谷在储藏过程中,对储藏期间的非靶标害虫及其天敌,进而对整个储藏期生物群落结构等有无影响;同一个转基因材料,是否会因种植地区的差异,引起其造成对储藏期间害虫的影响差异,这些均是转基因水稻进行商品化之前必须明确的问题。

赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* Herbst 属鞘翅目拟步甲科,是储粮中一种重要的害虫,由于其世代间隔短,繁殖能力强,易于饲养,适应能力强,很少病害,饲料一般不霉变等特点(张劳, 1989),使得赤拟谷盗成为评价转 Bt 稻谷对非靶标节肢动物长期效应和非预期效应的理想对象(Conner and Jacobs, 1999)。

本研究以来自湖北武穴、孝感、随州 3 个不同地区的转 *cry1Ab/cry1Ac*、*cry2A*、*cry1C* 基因明恢 63(分别命名为 TT51、T2A-1 和 T1C-19)为材料,研究以其继代饲养赤拟谷盗对其发育历期等生命表参数的影响,以及其体内毒蛋白的累积与否,以期能为转基因水稻产后领域安全性评价以及转基因水稻产后领域有害生物治理策略的制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试稻谷:来自湖北武穴、孝感、随州 3 个不同地区的转 *cry1Ab/cry1Ac*、*cry2A*、*cry1C* 基因明恢 63(分别命名为 TT51、T2A-1 和 T1C-19)和原始受体品种明恢 63(简称 MH63),由华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室提供。

供试昆虫:赤拟谷盗,由华中农业大学城市有害生物防治研究所提供,在室内用半碎小麦饲养 20 代以上。

1.2 试验方法

1.2.1 喂食方法

1.2.1.1 实验材料前处理 将所有供试稻谷去除杂质并暴晒 3 d,用密封性能好的容器常温储存备用。使用前调整含水量至 13% ±1%。使用时,将稻谷粉碎并过 40 目筛,用于产卵实验的稻谷粉碎后过 120 目筛。

1.2.1.2 喂食方法 以半碎小麦饲养的赤拟谷盗成虫为试虫接入过 120 目的各种稻谷中,产卵 12 h 后筛出成虫,以得到的卵为试验试虫第 1 代卵开始试验,以同种谷粉进行饲养一直到羽化成虫,到成虫大量羽化后,继续接入 120 目的同种稻谷中产卵 12 h,开始第 2 代的饲养,以此类推在实验室进行继代饲养 6 代。

1.2.2 赤拟谷盗生命表及生命参数的观察

1.2.2.1 卵期、卵孵化率的观察 取 24 h 内羽化的成虫随机配对。从相应稻谷粉中收集 12 h 内产的卵,放于培养皿中,将培养皿放入气候箱中以待孵化。每天 2 次检查卵的孵化情况,并移出新孵化的幼虫,记录卵期及卵的孵化率,每个重复 50 粒,每个处理重复 5 次。

1.2.2.2 幼虫期、化蛹率的观察 从相应稻谷粉的卵中收集 12 h 内龄期的幼虫,按照每瓶 30 头的密度将其转移到装有 10 g 相应稻谷粉的管中。每个处理重复 5 次。每天观察幼虫的发育情况,直至幼虫化蛹,化蛹后及时取出蛹。记录幼虫期、化蛹率。

1.2.2.3 蛹期、羽化率、雌雄比的观察 从相应稻谷粉中收集 12 h 内的蛹,每重复 30 头蛹,放入指形管中,管中放入适量稻谷粉,每个处理重复 3 ~5 次。每天观察蛹的发育情况,直至羽化,羽化后的成虫及时取出。记录蛹期、羽化率,并于化蛹后 2 ~3 d 观察蛹的雌雄,记录雌雄比。

1.2.2.4 成虫产卵前期、产卵期、产卵量的观察 取 24 h 内羽化的成虫随机配对。将每对放在装有 3 g 粉碎稻谷(过 120 目筛)的指形管中,每一处理重复 30 次,每天过筛检查玻璃小瓶,直到产卵开始为止。集中收集羽化配对后 10 ~20 d 内产的卵,为产卵能力指标。记录产卵前期、产卵期、产卵量。

1.2.3 杀虫蛋白含量的测定 选择孝感地区的各种供试稻谷及饲养的赤拟谷盗进行杀虫蛋白的测定。采用 Elisa 试剂盒进行测定,赤拟谷盗取每代的老熟幼虫,测定前用面粉进行饲喂 24 h。

1.3　数据分析

利用 SAS 软件(SAS Institute,1990)对数据进行统计分析,采用 LSD 法进行多重比较,孵化率、化蛹和羽化率方差分析前进行反正弦转换,各虫态历期和生殖力进行对数转换。

2　结果与分析

2.1　不同地区转 Bt 基因稻谷继代饲喂赤拟谷盗后对其生长发育的影响

通过一年多的时间,研究了来自 3 个不同地区湖北武穴、湖北孝感、湖北随州的转 *cry2A*、*cry1C* 和转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因水稻及各区的明恢 63 对照水稻,在储藏期间,通过继代饲养仓储重要害虫赤拟谷盗 6 代,对赤拟谷盗产卵前期、产卵量、卵期、卵孵化率、幼虫期、幼虫死亡率、化蛹率、蛹期、蛹重、羽化率等各虫态历期及生命表参数的影响的研究见表 1 ~3,从表 1 ~3 中可以看出,用转基因水稻和非转基因对照水稻饲养的各种处理,赤拟谷盗各个生长发育指标为:卵期 3 ~4 d,卵孵化率 85% ~100%,幼虫期 22 ~27 d,化蛹率 85% ~97%,蛹期 6 ~7 d,百蛹重 0.25 ~0.31 g,性比 0.8 ~1.4,羽化率 82% ~97%,产卵前期 5 ~7 d,各参数同一世代不同地区之间以及同一地区不同世代之间均没有极显著差异。初步得出结论,转 *cry2A*、*cry1C* 和转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因水稻在储藏期间,在 6 代的饲养过程中,对赤拟谷盗的各发育历期及生命表参数没有明显的影响,各个指标的变化均未达到极显著差异水平。

表 1　转 *cry2A* 基因稻谷水稻对赤拟谷盗部分生命表参数的影响

Table 1　Influence of transgenic *cry2A* rice on life table parameters of *Tribolium casaneum* at different generations

	不同水稻 Rice	世代 Genaration					
		1	2	3	4	5	6
卵期(d) Egg	武 T2A-1	4.0 ±0.0aA	3.5 ±0.1aA	3.6 ±0.0aA	3.7 ±0.3aA	3.9 ±0.2aA	3.6 ±0.1 aA
	孝 T2A-1	3.7 ±0.1aA	3.6 ±0.3aA	3.8 ±0.0aA	3.8 ±0.2aA	3.6 ±0.1aA	3.7 ±0.1 aA
	随 T2A-1	3.9 ±0.1aA	3.7 ±0.2aA	3.7 ±0.2aA	3.8 ±0.2aA	3.7 ±0.1aA	3.7 ±0.1 aA
	武 MH63	3.8 ±0.2aA	3.7 ±0.1aA	3.7 ±0.1aA	3.5 ±0.1aA	3.7 ±0.0aA	3.6 ±0.1 aA
	孝 MH63	3.6 ±0.0aA	3.9 ±0.1aA	3.7 ±0.2aA	3.5 ±0.3aA	3.7 ±0.1aA	3.7 ±0.1 aA
	随 MH63	3.8 ±0.1aA	3.8 ±0.0aA	3.6 ±0.2aA	3.4 ±0.3aA	3.8 ±0.1aA	3.7 ±0.1 aA
幼虫期(d) Larvae	武 T2A-1	22.9 ±0.0aA	24.2 ±0.4aA	25.1 ±1.3aA	25.1 ±1.1aA	25.9 ±0.6aA	25.5 ±1.2 aA
	孝 T2A-1	25.5 ±1.2aA	26.1 ±0.9aA	25.0 ±0.0aA	26.3 ±1.3aA	24.9 ±0.3aA	25.9 ±1.7 aA
	随 T2A-1	25.9 ±0.4aA	25.4 ±1.4aA	24.1 ±1.5aA	25.1 ±1.3aA	24.8 ±2.2aA	25.9 ±1.6 aA
	武 MH63	23.7 ±1.1aA	24.0 ±0.7aA	25.8 ±0.9aA	24.8 ±0.9aA	24.7 ±0.9aA	26.0 ±1.4 aA
	孝 MH63	25.3 ±0.9aA	25.5 ±0.2aA	25.0 ±0.5aA	25.6 ±1.6aA	25.0 ±1.9aA	24.8 ±0.5 aA
	随 MH63	26.7 ±1.8aA	24.7 ±1.9aA	24.0 ±1.5aA	26.4 ±2.7aA	25.6 ±0.2aA	25.6 ±1.4 aA
蛹期(d) Pupae	武 T2A-1	6.1 ±0.1aA	6.7 ±0.0aA	6.1 ±0.1aA	6.4 ±0.0aA	6.1 ±0.1aA	6.3 ±0.2 aA
	孝 T2A-1	6.4 ±0.1aA	6.7 ±0.1aA	6.0 ±0.1aA	6.2 ±0.1aA	6.0 ±0.2aA	6.3 ±0.5 aA
	随 T2A-1	6.7 ±0.0aA	6.7 ±0.1aA	6.3 ±0.0aA	6.3 ±0.0aA	6.4 ±0.1aA	6.4 ±0.1 aA
	武 MH63	6.3 ±0.1aA	6.7 ±0.1aA	6.4 ±0.1aA	6.4 ±0.1aA	6.3 ±0.1aA	6.5 ±0.2 aA
	孝 MH63	6.2 ±0.1aA	6.8 ±0.0aA	6.3 ±0.0aA	6.4 ±0.1aA	6.1 ±0.2aA	6.5 ±0.1 aA
	随 MH63	6.6 ±0.2aA	6.7 ±0.1aA	6.3 ±0.1aA	6.1 ±0.3aA	6.5 ±0.1aA	6.5 ±0.2 aA
产卵前期(d) Preoviposition	武 T2A-1	5.9 ±0.2aA	6.4 ±0.1aA	6.1 ±0.1aA	6.7 ±0.3aA	6.3 ±0.2aA	6.7 ±0.3 aA
	孝 T2A-1	6.2 ±0.2aA	6.6 ±0.2aA	6.7 ±0.3aA	6.7 ±0.1aA	6.2 ±0.2aA	6.6 ±0.2 aA
	随 T2A-1	6.1 ±0.2aA	7.0 ±0.2aA	6.7 ±0.2aA	6.5 ±0.1aA	6.6 ±0.20aA	6.1 ±0.2 aA
	武 MH63	5.6 ±0.1aA	6.8 ±0.2aA	6.2 ±0.2aA	6.2 ±0.2aA	6.2 ±0.1aA	6.4 ±0.2 aA
	孝 MH63	6.1 ±0.1aA	6.7 ±0.2aA	6.2 ±0.2aA	6.5 ±0.1aA	6.1 ±0.2aA	6.3 ±0.3 aA
	随 MH63	6.2 ±0.3aA	6.7 ±0.2aA	6.6 ±0.4aA	6.5 ±0.1aA	6.6 ±0.4aA	6.4 ±0.2 aA
卵孵化率(%)	武 T2A-1	93.3 ±1.9aA	98.7 ±1.3aA	100.0 ±0.0aA	91.4 ±2.9aA	90.0 ±5.8aA	98.7 ±1.3 aA
	孝 T2A-1	95.6 ±2.9aA	94.4 ±1.1aA	91.3 ±8.7aA	95.6 ±4.4aA	93.3 ±3.8aA	96.7 ±1.9 aA
	随 T2A-1	96.7 ±1.9aA	92.2 ±1.1aA	93.8 ±6.2aA	92.7 ±3.8aA	94.4 ±2.7aA	94.4 ±2.9 aA

续表 1

	不同水稻 Rice	世代 Genaration					
		1	2	3	4	5	6
Hatchability	武 MH63	94.4 ± 1.1aA	95.6 ± 2.9aA	100.0 ± 0.0aA	88.7 ± 1.0aA	97.8 ± 2.2 aA	88.7 ± 2.9 aA
	孝 MH63	95.6 ± 1.1aA	96.7 ± 1.9aA	90.0 ± 10.0aA	92.2 ± 4.4aA	96.7 ± 3.3aA	98.9 ± 1.1 aA
	随 MH63	95.6 ± 1.1aA	96.7 ± 1.9aA	91.7 ± 8.3aA	90.0 ± 1.9aA	93.3 ± 3.6aA	91.1 ± 4.0 aA
化蛹率(%) Pupation rate	武 T2A-1	95.6 ± 1.1aA	94.2 ± 1.6aA	89.7 ± 3.2aA	90.7 ± 3.2aA	93.9 ± 1.4aA	88.7 ± 5.9 aA
	孝 T2A-1	92.2 ± 1.1aA	90.0 ± 1.9aA	81.7 ± 5.0aA	91.1 ± 1.1aA	96.0 ± 4.0aA	92.5 ± 4.5 aA
	随 T2A-1	91.1 ± 1.1aA	90.0 ± 1.9aA	91.1 ± 1.1aA	91.0 ± 1.9aA	97.6 ± 2.4aA	88.7 ± 4.7 aA
	武 MH63	95.6 ± 2.9aA	93.3 ± 1.4aA	90.0 ± 5.1aA	90.0 ± 5.1aA	95.0 ± 3.3aA	88.4 ± 6.9 aA
	孝 MH63	94.4 ± 2.9aA	93.3 ± 1.9aA	85.6 ± 4.4aA	90.0 ± 1.9aA	89.4 ± 4.4aA	91.8 ± 3.1 aA
	随 MH63	93.3 ± 1.9aA	90.0 ± 1.9aA	90.0 ± 1.9aA	91.0 ± 1.9aA	88.4 ± 8.3aA	82.9 ± 8.6 aA
百蛹重(g) Pupal weight	武 T2A-1	0.3052 ± 0.0033aA	0.3008 ± 0.025 4aA	0.2847 ± 0.0135aA	0.2806 ± 0.0098aA	0.2888 ± 0.0100aA	0.2932 ± 0.0128 aA
	孝 T2A-1	0.2858 ± 0.0053aA	0.2989 ± 0.0218aA	0.2789 ± 0.0081aA	0.2615 ± 0.0021aA	0.2847 ± 0.0054aA	0.2976 ± 0.0146 aA
	随 T2A-1	0.2763 ± 0.0021aA	0.2742 ± 0.0125aA	0.2789 ± 0.0081aA	0.2542 ± 0.0084aA	0.2776 ± 0.0037aA	0.2815 ± 0.0065 aA
	武 MH63	0.2999 ± 0.0045aA	0.2732 ± 0.0090aA	0.2742 ± 0.0131aA	0.2982 ± 0.0101aA	0.2983 ± 0.0017aA	0.2747 ± 0.0093 aA
	孝 MH63	0.3017 ± 0.0057aA	0.3171 ± 0.0201aA	0.2819 ± 0.0142aA	0.2727 ± 0.0133aA	0.2842 ± 0.0103aA	0.3078 ± 0.0193 aA
	随 MH63	0.2800 ± 0.0076aA	0.2900 ± 0.0100aA	0.2819 ± 0.0142aA	0.2853 ± 0.0125aA	0.2765 ± 0.0066aA	0.2852 ± 0.0086 aA
雌雄比 (♀:♂) Sex ratio	武 T2A-1	1.20 ± 0.2aA	0.92 ± 0.18aA	1.22 ± 0.12aA	1.12 ± 0.22aA	1.12 ± 0.10aA	1.13 ± 0.11 a A
	孝 T2A-1	1.10 ± 0.1aA	0.97 ± 0.36aA	1.13 ± 0.13aA	0.94 ± 0.17aA	1.10 ± 0.05aA	1.18 ± 0.19 a A
	随 T2A-1	1.10 ± 0.2aA	0.68 ± 0.09aA	0.84 ± 0.17aA	0.88 ± 0.09aA	0.96 ± 0.13aA	0.84 ± 0.12 a A
	武 MH63	1.20 ± 0.2aA	0.91 ± 0.13aA	1.20 ± 0.28aA	1.21 ± 0.18aA	1.19 ± 0.15aA	1.05 ± 0.16 a A
	孝 MH63	1.00 ± 0.1aA	0.80 ± 0.06aA	0.91 ± 0.05aA	0.97 ± 0.11aA	0.97 ± 0.06aA	0.89 ± 0.03 a A
	随 MH63	1.30 ± 0.2aA	1.14 ± 0.30aA	0.87 ± 0.21aA	1.14 ± 0.30aA	1.07 ± 0.17aA	0.96 ± 0.17a A
羽化率(%) Emergence rate	武 T2A-1	95.5 ± 1.0aA	81.4 ± 1.9aA	83.4 ± 4.1aA	91.0 ± 5.1aA	91.6 ± 3.8aA	90.5 ± 3.9 a A
	孝 T2A-1	97.4 ± 1.3aA	86.4 ± 7.1aA	94.0 ± 6.0aA	90.0 ± 6.0aA	88.4 ± 3.3aA	89.9 ± 3.8 a A
	随 T2A-1	91.5 ± 5.4aA	90.7 ± 5.4aA	87.1 ± 8.4aA	94.0 ± 6.0aA	94.6 ± 3.0aA	89.7 ± 3.2 a A
	武 MH63	91.9 ± 4.1aA	88.5 ± 4.1aA	86.3 ± 5.8aA	85.6 ± 3.1aA	92.1 ± 5.2aA	93.0 ± 4.4 a A
	孝 MH63	85.4 ± 9.4aA	86.0 ± 5.1aA	87.6 ± 3.1aA	88.6 ± 3.1aA	96.7 ± 1.9aA	88.9 ± 3.0 a A
	随 MH63	86.0 ± 10.7aA	81.7 ± 9.2aA	82.9 ± 8.6aA	88.6 ± 3.1aA	87.2 ± 6.1aA	82.3 ± 5.6 a A
生殖力(头) Fecundity	武 T2A-1	41.4 ± 2.0aA	32.0 ± 2.2aA	25.9 ± 1.8aA	31.6 ± 1.4aA	37.2 ± 2.0aA	37.9 ± 3.9 a A
	孝 T2A-1	32.0 ± 2.3aA	26.7 ± 2.0aA	34.6 ± 1.4aA	27.7 ± 2.0aA	33.8 ± 2.8aA	28.2 ± 2.9 a A
	随 T2A-1	28.6 ± 1.8aA	27.8 ± 1.7aA	30.5 ± 2.1aA	26.9 ± 1.8aA	44.0 ± 3.5aA	35.8 ± 3.9 a A
	武 MH63	41.4 ± 1.9aA	31.0 ± 1.3aA	27.7 ± 1.8aA	29.0 ± 2.3aA	32.9 ± 2.2aA	32.1 ± 2.5 a A
	孝 MH63	36.4 ± 2.8aA	29.3 ± 2.1aA	32.0 ± 2.3aA	29.3 ± 2.1aA	37.1 ± 3.8aA	34.8 ± 3.8 a A
	随 MH63	26.9 ± 3.1aA	31.8 ± 2.8aA	34.5 ± 1.9aA	28.7 ± 1.8aA	33.7 ± 3.5aA	33.7 ± 3.2 a A

注:同列数据后标有不同小写字母表示同一世代不同地区参数之间的差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示同一地区不同世代参数之间的差异显著($P < 0.01$)。下表同。

Data followed by different small or capital letters in the same column indicate significantly different at the 0.05 or 0.01 level, respectively. The same below.

表 2　转 *cry1C* 基因稻谷水稻对赤拟谷盗部分生命表参数的影响

Table 2　Influence of transgenic *cry1C* rice on life table parameters of *Tribolium casaneum* at different generations

	不同水稻 Rice	世代 Genaration					
		1	2	3	4	5	6
卵期(d) Egg	武 T1C-19	3.8 ± 0.1aA	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.6 ± 0.2aA	3.9 ± 0.1aA	3.7 ± 0.0aA
	孝 T1C-19	3.7 ± 0.1aA	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.6 ± 0.2aA	3.6 ± 0.0aA	3.7 ± 0.1aA
	随 T1C-19	3.8 ± 0.2aA	3.7 ± 0.2 aa	3.7 ± 0.1aA	3.6 ± 0.2aA	3.9 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
	武 MH63	3.8 ± 0.2aA	3.7 ± 0.1 aA	3.7 ± 0.1aA	3.5 ± 0.1aA	3.7 ± 0.0aA	3.6 ± 0.1aA
	孝 MH63	3.6 ± 0.0aA	3.9 ± 0.1aA	3.7 ± 0.2aA	3.5 ± 0.3aA	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
	随 MH63	3.8 ± 0.1aA	3.8 ± 0.0aA	3.6 ± 0.2aA	3.4 ± 0.3aA	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
幼虫期(d) Larvae	武 T1C-19	3.8 ± 0.1aA	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.6 ± 0.2aA	3.9 ± 0.1aA	3.7 ± 0.0aA
	孝 T1C-19	3.7 ± 0.1aA	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.6 ± 0.2aA	3.6 ± 0.0aA	3.7 ± 0.1aA
	随 T1C-19	3.8 ± 0.2aA	3.7 ± 0.2 aa	3.7 ± 0.1aA	3.6 ± 0.2aA	3.9 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
	武 MH63	3.8 ± 0.2aA	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.5 ± 0.1aA	3.7 ± 0.0aA	3.6 ± 0.1aA
	孝 MH63	3.6 ± 0.0aA	3.9 ± 0.1aA	3.7 ± 0.2aA	3.5 ± 0.3aA	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
	随 MH63	3.8 ± 0.1aA	3.8 ± 0.0aA	3.6 ± 0.2aA	3.4 ± 0.3aA	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
蛹期(d) Pupae	武 T1C-19	6.3 ± 0.1aA	6.7 ± 0.1aA	6.0 ± 0.1aA	6.5 ± 0.1aA	6.2 ± 0.2aA	6.2 ± 0.3aA
	孝 T1C-19	6.2 ± 0.3aA	6.9 ± 0.2aA	6.2 ± 0.1aA	6.4 ± 0.1aA	6.2 ± 0.0aA	6.2 ± 0.1aA
	随 T1C-19	6.2 ± 0.2aA	6.6 ± 0.1aA	6.5 ± 0.0aA	6.4 ± 0.3aA	6.4 ± 0.1aA	6.6 ± 0.1aA
	武 MH63	6.3 ± 0.1aA	6.7 ± 0.1aA	6.4 ± 0.1aA	6.4 ± 0.1aA	6.3 ± 0.1aA	6.5 ± 0.2aA
	孝 MH63	6.2 ± 0.1aA	6.8 ± 0.0aA	6.3 ± 0.0aA	6.4 ± 0.1aA	6.1 ± 0.2aA	6.5 ± 0.1aA
	随 MH63	6.6 ± 0.2aA	6.7 ± 0.1aA	6.3 ± 0.1aA	6.1 ± 0.3aA	6.5 ± 0.1aA	6.5 ± 0.2aA
产卵前期(d) Preoviposition	武 T1C-19	5.5 ± 0.1aA	6.7 ± 0.2aA	5.8 ± 0.1aA	6.8 ± 0.3aA	6.1 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA
	孝 T1C-19	5.8 ± 0.1aA	6.8 ± 0.2aA	6.1 ± 0.2aA	6.6 ± 0.2aA	6.6 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA
	随 T1C-19	5.9 ± 0.2aA	6.8 ± 0.1aA	6.0 ± 0.2aA	6.6 ± 0.0aA	6.0 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA
	武 MH63	5.6 ± 0.1aA	6.8 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.2 ± 0.1aA	6.4 ± 0.2aA
	孝 MH63	6.1 ± 0.1aA	6.7 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.5 ± 0.1aA	6.1 ± 0.2aA	6.3 ± 0.3aA
	随 MH63	6.2 ± 0.3aA	6.7 ± 0.2aA	6.6 ± 0.4aA	6.5 ± 0.1aA	6.6 ± 0.4aA	6.4 ± 0.2aA
卵孵化率(%) Hatchability	武 T1C-19	94.4 ± 2.9aA	93.3 ± 1.9aA	87.5 ± 12.5aA	92.1 ± 1.1aA	92.5 ± 3.8aA	88.3 ± 6.7aA
	孝 T1C-19	94.4 ± 1.1aA	96.7 ± 1.9aA	91.3 ± 8.7aA	93.2 ± 3.3aA	96.7 ± 1.9aA	90.9 ± 4.2aA
	随 T1C-19	93.3 ± 1.9aA	93.3 ± 1.9aA	90.8 ± 0.8aA	90.7 ± 2.5aA	92.1 ± 1.6aA	92.8 ± 2.0aA
	武 MH63	94.4 ± 1.1aA	95.6 ± 2.9aA	100.0 ± 0.0aA	88.7 ± 1.0aA	97.8 ± 2.2a A	88.7 ± 2.9aA
	孝 MH63	95.6 ± 1.1aA	96.7 ± 1.9aA	90.0 ± 10.0aA	92.2 ± 4.4aA	96.7 ± 3.3aA	98.9 ± 1.1aA
	随 MH63	95.6 ± 1.1aA	96.7 ± 1.9aA	91.7 ± 8.3aA	90.0 ± 1.9aA	93.3 ± 3.6aA	91.1 ± 4.0aA
化蛹率(%) Pupation rate	武 T1C-19	94.4 ± 2.9aA	91.1 ± 1.1aA	93.3 ± 5.1aA	92.3 ± 5.1aA	96.6 ± 1.9aA	93.0 ± 7.0aA
	孝 T1C-19	95.6 ± 2.9aA	91.1 ± 2.2aA	90.0 ± 0.0aA	86.4 ± 2.9aA	90.7 ± 4.9aA	84.7 ± 3.7aA
	随 T1C-19	94.4 ± 2.9aA	94.4 ± 1.1aA	84.4 ± 2.9aA	94.4 ± 1.1aA	92.2 ± 7.8aA	86.0 ± 5.9aA
	武 MH63	95.6 ± 2.9aA	93.3 ± 1.4aA	90.0 ± 5.1aA	90.0 ± 5.1aA	95.0 ± 3.3aA	88.4 ± 6.9aA
	孝 MH63	94.4 ± 2.9aA	93.3 ± 1.9aA	85.6 ± 4.4aA	90.0 ± 1.9aA	89.4 ± 4.4aA	91.8 ± 3.1aA
	随 MH63	93.3 ± 1.9aA	90.0 ± 1.9aA	90.0 ± 1.9aA	91.0 ± 1.9aA	88.4 ± 8.3aA	82.9 ± 8.6aA
	武 T1C-19	0.3001 ± 0.0023aA	0.2758 ± 0.0201aA	0.2956 ± 0.0031aA	0.2872 ± 0.0037aA	0.2843 ± 0.0113aA	0.2942 ± 0.0026aA
	孝 T1C-19	0.2867 ± 0.0068aA	0.2916 ± 0.0085aA	0.2851 ± 0.0042aA	0.2832 ± 0.0113aA	0.2892 ± 0.0055aA	0.2878 ± 0.0055aA
	随 T1C-19	0.2776 ± 0.0024aA	0.2842 ± 0.0080aA	0.2851 ± 0.0042aA	0.276 ± 0.0151aA	0.2808 ± 0.0042aA	0.2866 ± 0.0043aA

（续表 2）

	不同水稻 Rice	世代 Genaration					
		1	2	3	4	5	6
百蛹重(g) Pupal weight	武 MH63	0.2999 ± 0.0045aA	0.2732 ± 0.0090aA	0.2742 ± 0.0131aA	0.2982 ± 0.0101aA	0.2983 ± 0.0017aA	0.2747 ± 0.0093aA
	孝 MH63	0.3017 ± 0.0057aA	0.3171 ± 0.0201aA	0.2819 ± 0.0142aA	0.2727 ± 0.0133aA	0.2842 ± 0.0103aA	0.3078 ± 0.0193aA
	随 MH63	0.2800 ± 0.0076aA	0.2900 ± 0.0100aA	0.2819 ± 0.0142aA	0.2853 ± 0.0125aA	0.2765 ± 0.0066aA	0.2852 ± 0.0086aA
雌雄比 (♀:♂) Sex ratio	武 T1C-19	1.2 ± 0.3aA	1.10 ± 0.02aA	0.91 ± 0.19aA	0.95 ± 0.29aA	1.04 ± 0.16aA	1.00 ± 0.09aA
	孝 T1C-19	1.2 ± 0.4aA	1.41 ± 0.13aA	1.03 ± 0.05aA	1.02 ± 0.21aA	1.12 ± 0.18aA	1.20 ± 0.13aA
	随 T1C-19	0.8 ± 0.1aA	0.72 ± 0.11aA	1.12 ± 0.21aA	0.92 ± 0.11aA	0.96 ± 0.13aA	0.99 ± 0.20aA
	武 MH63	1.2 ± 0.2aA	0.91 ± 0.13aA	1.20 ± 0.28aA	1.21 ± 0.18aA	1.19 ± 0.15aA	1.05 ± 0.16aA
	孝 MH63	1.0 ± 0.1aA	0.80 ± 0.06aA	0.91 ± 0.05aA	0.97 ± 0.11aA	0.97 ± 0.06aA	0.89 ± 0.03aA
	随 MH63	1.3 ± 0.2aA	1.14 ± 0.30aA	0.87 ± 0.21aA	1.14 ± 0.30aA	1.07 ± 0.17aA	0.96 ± 0.17a A
羽化率(%) Emergence rate	武 T1C-19	87.7 ± 10.6aA	92.9 ± 7.1aA	97.8 ± 2.2aA	92.8 ± 3.2aA	93.4 ± 2.4aA	88.5 ± 3.4aA
	孝 T1C-19	86.1 ± 5.0aA	91.1 ± 4.5aA	93.8 ± 3.3aA	91.8 ± 3.3aA	86.3 ± 4.9aA	87.4 ± 2.9aA
	随 T1C-19	81.5 ± 9.6aA	94.0 ± 4.3aA	87.8 ± 6.9aA	91.8 ± 3.3aA	86.9 ± 6.0aA	90.0 ± 3.7aA
	武 MH63	91.9 ± 4.1aA	88.5 ± 4.1aA	86.3 ± 5.8aA	85.6 ± 3.1aA	92.1 ± 5.2aA	93.0 ± 4.4aA
	孝 MH63	85.4 ± 9.4aA	86.0 ± 5.1aA	87.6 ± 3.1aA	88.6 ± 3.1aA	96.7 ± 1.9aA	88.9 ± 3.0aA
	随 MH63	86.0 ± 10.7aA	81.7 ± 9.2aA	82.9 ± 8.6aA	88.6 ± 3.1aA	87.2 ± 6.1aA	82.3 ± 5.6aA
生殖力(头) Fecundity	武 T1C-19	42.3 ± 1.6aA	29.4 ± 1.6aA	27.8 ± 1.7aA	30.0 ± 1.5aA	33.2 ± 2.0aA	28.8 ± 2.0aA
	孝 T1C-19	34.6 ± 1.9aA	30.8 ± 2.0aA	30.0 ± 1.6aA	31.8 ± 2.0aA	37.3 ± 3.4aA	31.8 ± 2.7aA
	随 T1C-19	35.7 ± 2.3aA	30.4 ± 1.8aA	30.1 ± 2.0aA	27.9 ± 1.8aA	38.2 ± 2.7aA	39.2 ± 4.5aA
	武 MH63	41.4 ± 1.9aA	31.0 ± 1.3aA	27.7 ± 1.8aA	29.0 ± 2.3aA	32.9 ± 2.2aA	32.1 ± 2.5aA
	孝 MH63	36.4 ± 2.8aA	29.3 ± 2.1aA	32.0 ± 2.3aA	29.3 ± 2.1aA	37.1 ± 3.8aA	34.8 ± 3.8aA
	随 MH63	26.9 ± 3.1aA	31.8 ± 2.8aA	34.5 ± 1.9aA	28.7 ± 1.8aA	33.7 ± 3.5aA	33.7 ± 3.2aA

表 3 转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因稻谷水稻对赤拟谷盗部分生命表参数的影响

Table 3 Influence of transgenic *cry1Ab/cry1Ac* rice on life table parameters of *Tribolium casaneum* at different generations

	不同水稻 Rice	世代 Genaration					
		1	2	3	4	5	6
卵期(d) Egg	武 TT51	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.0aA	3.6 ± 0.2aA	3.8 ± 0.1aA	3.8 ± 0.1aA
	孝 TT51	3.7 ± 0.1aA	3.8 ± 0.1aA	3.5 ± 0.1aA	3.7 ± 0.2aA	3.7 ± 0.1aA	3.6 ± 0.2aA
	随 TT51	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.0aA	3.7 ± 0.2aA	3.8 ± 0.1aA	3.6 ± 0.0aA
	武 MH63	3.8 ± 0.2aA	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA	3.5 ± 0.1aA	3.7 ± 0.0aA	3.6 ± 0.1aA
	孝 MH63	3.6 ± 0.0aA	3.9 ± 0.1aA	3.7 ± 0.2aA	3.5 ± 0.3aA	3.7 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
	随 MH63	3.8 ± 0.1aA	3.8 ± 0.0aA	3.6 ± 0.2aA	3.4 ± 0.3aA	3.8 ± 0.1aA	3.7 ± 0.1aA
幼虫期(d) Larvae	武 TT51	22.6 ± 0.5aA	23.6 ± 0.2aA	26.3 ± 1.1aA	25.0 ± 0.0aA	25.6 ± 1.6aA	23.7 ± 0.3aA
	孝 TT51	23.5 ± 0.2aA	25.9 ± 1.7aA	25.2 ± 0.5aA	25.2 ± 0.4aA	25.3 ± 0.3aA	25.8 ± 1.0aA
	随 TT51	24.0 ± 0.6aA	23.8 ± 0.6aA	26.4 ± 2.7aA	25.3 ± 1.7aA	27.5 ± 1.6aA	23.5 ± 0.7aA
	武 MH63	23.7 ± 1.1aA	24.0 ± 0.7aA	25.8 ± 0.9aA	24.8 ± 0.9aA	24.7 ± 0.9aA	26.0 ± 1.4aA
	孝 MH63	25.3 ± 0.9aA	25.5 ± 0.2aA	25.0 ± 0.5aA	25.6 ± 1.6aA	25.0 ± 1.9aA	24.8 ± 0.5aA
	随 MH63	26.7 ± 1.8aA	24.7 ± 1.9aA	24.0 ± 1.5aA	26.4 ± 2.7aA	25.6 ± 0.2aA	25.6 ± 1.4aA
	武 TT51	6.1 ± 0.1aA	6.6 ± 0.0aA	6.0 ± 0.2aA	6.4 ± 0.1aA	6.1 ± 0.1aA	6.2 ± 0.3aA
	孝 TT51	6.1 ± 0.0aA	6.9 ± 0.0aA	6.0 ± 0.3aA	6.4 ± 0.1aA	6.2 ± 0.2aA	6.1 ± 0.4aA

（续表 3）

	不同水稻 Rice	世代 Genaration					
		1	2	3	4	5	6
蛹期(d) Pupae	随 TT51	6.3 ± 0.1aA	6.8 ± 0.1aA	6.4 ± 0.1aA	6.4 ± 0.0aA	6.6 ± 0.1aA	6.6 ± 0.2aA
	武 MH63	6.3 ± 0.1aA	6.7 ± 0.1aA	6.4 ± 0.1aA	6.4 ± 0.1aA	6.3 ± 0.1aA	6.5 ± 0.2aA
	孝 MH63	6.2 ± 0.1aA	6.8 ± 0.0aA	6.3 ± 0.0aA	6.4 ± 0.1aA	6.1 ± 0.2aA	6.5 ± 0.1aA
	随 MH63	6.6 ± 0.2aA	6.7 ± 0.1aA	6.3 ± 0.1aA	6.1 ± 0.3aA	6.5 ± 0.1aA	6.5 ± 0.2aA
产卵前期(d) Preoviposition	武 TT51	5.8 ± 0.1aA	6.8 ± 0.2aA	5.8 ± 0.2aA	6.6 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.6 ± 0.2aA
	孝 TT51	6.1 ± 0.2aA	6.6 ± 0.1aA	6.6 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.7 ± 0.3a A	6.2 ± 0.2aA
	随 TT51	5.9 ± 0.2aA	6.6 ± 0.2aA	6.5 ± 0.2aA	6.4 ± 0.1aA	6.2 ± 0.1aA	6.2 ± 0.2aA
	武 MH63	5.6 ± 0.1aA	6.8 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.2 ± 0.1aA	6.4 ± 0.2aA
	孝 MH63	6.1 ± 0.1aA	6.7 ± 0.2aA	6.2 ± 0.2aA	6.5 ± 0.1aA	6.1 ± 0.2aA	6.3 ± 0.3aA
	随 MH63	6.2 ± 0.3aA	6.7 ± 0.2aA	6.6 ± 0.4aA	6.5 ± 0.1aA	6.6 ± 0.4aA	6.4 ± 0.2aA
卵孵化率(%) Hatchability	武 TT51	93.3 ± 3.3aA	95.9 ± 2.4aA	86.6 ± 0.9aA	92.6 ± 2.2aA	97.8 ± 2.2aA	95.6 ± 3.0a A
	孝 TT51	95.5 ± 2.2aA	98.8 ± 1.2aA	93.3 ± 6.7aA	90.3 ± 3.2aA	90.9 ± 4.2aA	94.3 ± 4.0aA
	随 TT51	95.6 ± 1.1aA	95.6 ± 1.1aA	87.5 ± 4.2aA	89.5 ± 2.8aA	91.3 ± 2.8aA	93.9 ± 1.5aA
	武 MH63	94.4 ± 1.1aA	95.6 ± 2.9aA	100.0 ± 0.0aA	88.7 ± 1.0aA	97.8 ± 2.2a A	88.7 ± 2.9aA
	孝 MH63	95.6 ± 1.1aA	96.7 ± 1.9aA	90.0 ± 10.0aA	92.2 ± 4.4aA	96.7 ± 3.3aA	98.9 ± 1.1aA
	随 MH63	95.6 ± 1.1aA	96.7 ± 1.9aA	91.7 ± 8.3aA	90.0 ± 1.9aA	93.3 ± 3.6aA	91.1 ± 4.0aA
化蛹率(%) Pupation rate	武 TT51	96.7 ± 3.3aA	92.2 ± 2.9aA	98.9 ± 1.1aA	96.9 ± 1.1aA	91.1 ± 5.9aA	89.4 ± 5.5aA
	孝 TT51	93.3 ± 3.3aA	90.0 ± 1.9aA	88.9 ± 2.9aA	85.6 ± 2.2aA	90.0 ± 5.3aA	96.0 ± 4.0aA
	随 TT51	97.8 ± 2.2aA	93.3 ± 1.9aA	85.6 ± 2.2aA	92.3 ± 1.9aA	88.2 ± 5.8aA	90.4 ± 4.8aA
	武 MH63	95.6 ± 2.9aA	93.3 ± 1.4aA	90.0 ± 5.1aA	90.0 ± 5.1aA	95.0 ± 3.3aA	88.4 ± 6.9aA
	孝 MH63	94.4 ± 2.9aA	93.3 ± 1.9aA	85.6 ± 4.4aA	90.0 ± 1.9aA	89.4 ± 4.4aA	91.8 ± 3.1aA
	随 MH63	93.3 ± 1.9aA	90.0 ± 1.9aA	90.0 ± 1.9aA	91.0 ± 1.9aA	88.4 ± 8.3aA	82.9 ± 8.6aA
百蛹重(g) Pupal weight	武 TT51	0.3094 ± 0.0065aA	0.2938 ± 0.0044aA	0.2771 ± 0.0065aA	0.2793 ± 0.0091aA	0.3017 ± 0.0073aA	0.2803 ± 0.0056aA
	孝 TT51	0.2984 ± 0.0009aA	0.2691 ± 0.0040aA	0.2756 ± 0.0045aA	0.2727 ± 0.0077aA	0.2808 ± 0.0046aA	0.2728 ± 0.0037aA
	随 TT51	0.2967 ± 0.0094aA	0.2892 ± 0.0107aA	0.2756 ± 0.0045aA	0.2706 ± 0.0070aA	0.2880 ± 0.0082aA	0.2772 ± 0.0038aA
	武 MH63	0.2999 ± 0.0045aA	0.2732 ± 0.0090aA	0.2742 ± 0.0131aA	0.2982 ± 0.0101aA	0.2983 ± 0.0017aA	0.2747 ± 0.0093aA
	孝 MH63	0.3017 ± 0.0057aA	0.3171 ± 0.0201aA	0.2819 ± 0.0142aA	0.2727 ± 0.0133aA	0.2842 ± 0.0103aA	0.3078 ± 0.0193aA
	随 MH63	0.2800 ± 0.0076aA	0.2900 ± 0.0100aA	0.2819 ± 0.0142aA	0.2853 ± 0.0125aA	0.2765 ± 0.0066aA	0.2852 ± 0.0086aA
雌雄比 (♀:♂) Sex ratio	武 TT51	0.90 ± 0.4aA	0.85 ± 0.05aA	1.08 ± 0.19aA	1.18 ± 0.19aA	1.01 ± 0.20aA	0.96 ± 0.10aA
	孝 TT51	0.90 ± 0.1aA	0.82 ± 0.11aA	0.91 ± 0.09aA	1.01 ± 0.28aA	0.88 ± 0.05aA	0.86 ± 0.07aA
	随 TT51	1.20 ± 0.4aA	0.95 ± 0.19aA	1.01 ± 0.28aA	0.96 ± 0.19aA	1.10 ± 0.23aA	0.94 ± 0.21aA
	武 MH63	1.20 ± 0.2aA	0.91 ± 0.13aA	1.20 ± 0.28aA	1.21 ± 0.18aA	1.19 ± 0.15aA	1.05 ± 0.16aA
	孝 MH63	1.00 ± 0.1aA	0.80 ± 0.06aA	0.91 ± 0.05aA	0.97 ± 0.11aA	0.97 ± 0.06aA	0.89 ± 0.03aA
	随 MH63	1.30 ± 0.2aA	1.14 ± 0.30aA	0.87 ± 0.21aA	1.14 ± 0.30aA	1.07 ± 0.17aA	0.96 ± 0.17a A

（续表 3）

	不同水稻 Rice	世代 Genaration					
		1	2	3	4	5	6
羽化率(%) Emergence rate	武 TT51	92.1 ± 6.1aA	91.6 ± 6.6aA	83.3 ± 13.5aA	91.0 ± 5.3aA	94.7 ± 0.8aA	84.5 ± 2.9aA
	孝 TT51	82.6 ± 9.0aA	87.6 ± 6.2aA	90.0 ± 5.3aA	90.0 ± 4.3aA	87.4 ± 4.7aA	91.8 ± 3.8aA
	随 TT51	88.8 ± 6.1aA	91.8 ± 4.2aA	86.6 ± 4.3aA	90.0 ± 5.3aA	88.5 ± 3.8aA	91.1 ± 2.9aA
	武 MH63	91.9 ± 4.1aA	88.5 ± 4.1aA	86.3 ± 5.8aA	85.6 ± 3.1aA	92.1 ± 5.2aA	93.0 ± 4.4aA
	孝 MH63	85.4 ± 9.4aA	86.0 ± 5.1aA	87.6 ± 3.1aA	88.6 ± 3.1aA	96.7 ± 1.9aA	88.9 ± 3.0aA
	随 MH63	86.0 ± 10.7aA	81.7 ± 9.2aA	82.9 ± 8.6aA	88.6 ± 3.1aA	87.2 ± 6.1aA	82.3 ± 5.6aA
生殖力(头) Fecundity	武 TT51	38.1 ± 1.9aA	35.4 ± 1.9aA	30.0 ± 1.7aA	30.7 ± 2.3aA	36.0 ± 2.6aA	36.5 ± 4.3aA
	孝 TT51	35.6 ± 1.7aA	25.7 ± 1.6aA	35.7 ± 2.3aA	27.7 ± 1.7aA	39.1 ± 3.5aA	27.9 ± 2.9aA
	随 TT51	36.3 ± 1.7aA	28.1 ± 1.8aA	36.4 ± 2.8aA	31.0 ± 1.7aA	36.0 ± 5.3aA	34.8 ± 3.6aA
	武 MH63	41.4 ± 1.9aA	31.0 ± 1.3aA	27.7 ± 1.8aA	29.0 ± 2.3aA	32.9 ± 2.2aA	32.1 ± 2.5aA
	孝 MH63	36.4 ± 2.8aA	29.3 ± 2.1aA	32.0 ± 2.3aA	29.3 ± 2.1aA	37.1 ± 3.8aA	34.8 ± 3.8aA
	随 MH63	26.9 ± 3.1aA	31.8 ± 2.8aA	34.5 ± 1.9aA	28.7 ± 1.8aA	33.7 ± 3.5aA	33.7 ± 3.2aA

2.2　转基因水稻稻谷继代饲喂赤拟谷盗，其体内毒蛋白的变化规律

以孝感的各种供试稻谷饲喂的赤拟谷盗，取每代的老熟幼虫，测定其体内毒蛋白的含量（图 1 ~3）。图 1 ~3 表明，用 Elisa 试剂盒检测赤拟谷盗体内的毒蛋白含量，结果各代幼虫均呈阳性反应，但是 OD 值很小，在试剂盒检测下限以外。说明，3 种毒蛋白均可以在赤拟谷盗体内检测到，但由于积累的量很小，与试剂空白及阴性对照差异不大，无法定量。而且各代之间没有因为继代用转基因水稻饲喂而造成在体内的累积。

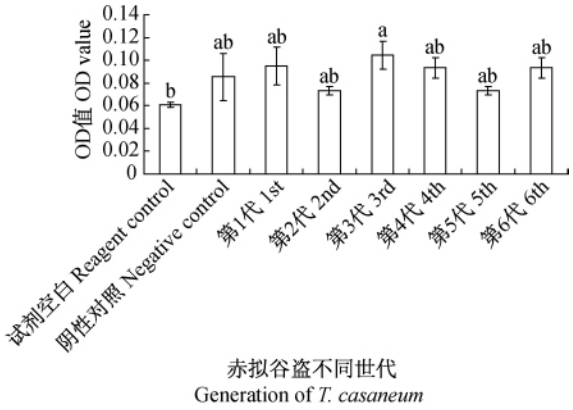

图 1　*cry2A* 在赤拟谷盗体内的变化规律

Fig. 1　Content of *cry2A* protein in *Tribolium casaneum*

注：图中的不同字母表示不同世代不同 OD 值之间的差异显著（$P < 0.05$）。下图同。

Histograms with different letters indicate significant difference among generations at the 0.05 level. The same below.

3　小结与讨论

通过 1 年多用种植在 3 个不同地区的转 *cry2A*、*cry1C* 和转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因稻谷继代饲养赤拟谷盗 6 代，对赤拟谷盗各发育历期及部分生命表参数没有显著的影响，同一转基因事件，没有因为种植区域的不同造成其对赤拟谷盗生长发育的影响差异。3 种 Bt 基因在继代饲养的 6 代赤拟谷盗幼虫体内检测均呈阳性反应，但积累量很小，继代饲养后，没有发现在赤拟谷盗体内明显的

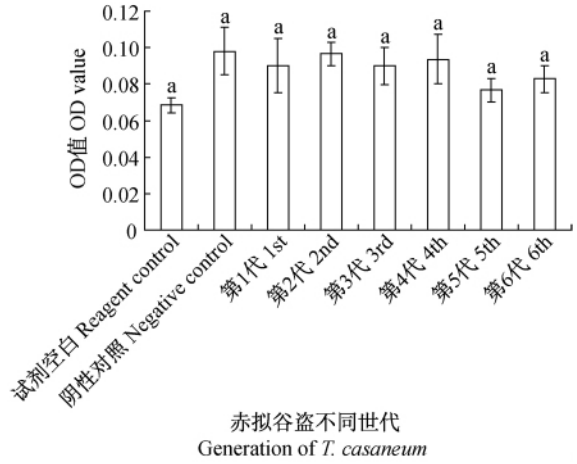

图 2　*cry1C* 在赤拟谷盗体内的变化规律

Fig. 2　Content of *cry1C* protein in *Tribolium casaneum*

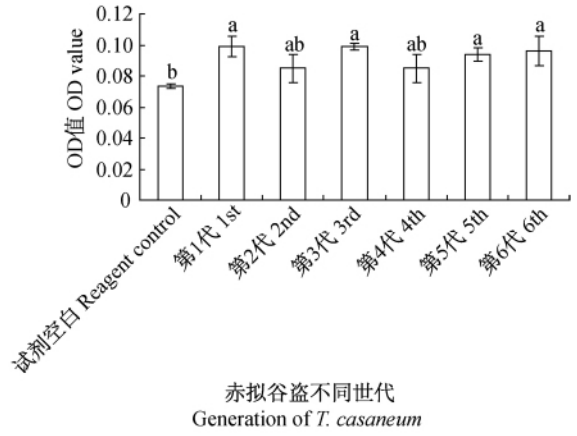

图 3　*cry1Ab* 在赤拟谷盗体内的变化规律

Fig. 3　Content of *cry1Ab* protein in *Tribolium casaneum*

累积。

国内外转 Bt 基因抗虫水稻的研究发展迅速，获得了许多抗虫效果良好的水稻品种，部分品种已在我国通过中间试验和环境释放试验。目前研发的转 Bt 基因抗虫水稻主要针对生长期的鳞翅目害虫，因此多数研究针对生长期（Ye *et al.*，2001；姜永厚等，2005）。但对产后储藏期的害虫具有何种影响，转 Bt 基因水稻在储藏期间的害虫治理策略是否需要做相对的调整，目前在这个领域的研究相对较少。李光涛等（2008）报道转 Bt 基因抗虫稻谷对麦蛾具有显著抗性，取食转 Bt 基因抗虫稻谷的麦蛾羽化率仅为对照的 13%，各发育指标均显著降低，转 Bt 基因抗虫稻谷对麦蛾表现为高抗。但相当数量的麦蛾能够在转 Bt 基因稻谷上完成生活史并产生子代，在 Bt 基因单一的选择压力下，麦蛾对转 Bt 基因抗虫稻谷的抗性会迅速发展。

蔡万伦等（2006）通过对在自然条件下不同储藏期 Bt 稻谷与非 Bt 稻谷抽样调查表明，随着稻谷储藏期的延长，在储藏 17 个月后 Bt 稻谷上的虫蚀率显著低于另外 2 种非 Bt 稻谷上的虫蚀率。但 Bt 稻谷和非 Bt 稻谷中的非靶标害虫赤拟谷盗、谷蠹、嗜卷书虱的数量，在 19 个月储藏期内，结果差异不显著。蔡万伦等（2008）通过用转 *cry1Ab/Ac* 稻谷连续饲喂赤拟谷盗 4 代，表明对赤拟谷盗生长发育的影响不明显。本研究也表明，3 个不同地

区的3种转Bt水稻对赤拟谷盗生长发育各参数均没有造成显著差异，与蔡万伦等(2008)的研究结果一致。

转基因水稻允许种植后，势必会在不同的区域进行推广，那么同一转基因事件是否会由于种植区域生态条件的差异造成其对害虫的表现差异？是否需要针对不同的地区进行安全性评价或者害虫治理策略的调整？武穴，位于长江中游北岸，一年内日均温≥10℃，植物生产期长，雨量较多，以平原丘陵为主；孝感，位于湖北省东北部，四季分明，冬季盛行偏北风，夏季盛行偏南风，严寒酷暑时间短，春、秋、初夏气候温和时间长；随州，位于湖北北部，气候温和，四季分明，光照充足，雨量充沛，无霜期较长，严寒酷暑时间较短。本研究对种植在武穴、孝感、随州3个不同地区的转*cry2A*、*cry1C*和转*cry1Ab/cry1Ac*基因水稻进行了初步研究，结果表明，同一转基因事件没有因为种植区域的不同造成其对非靶标害虫赤拟谷盗的影响。在针对产后领域赤拟谷盗的防治上，无需进行防治策略的调整。

参考文献(References)

Conner AJ, Jacobs JME, 1999. Genetic engineering of crops as potential source of genetic hazard in the human diet. *Mutation Research*, 443(1/2):223—234.

Khanna HK, Raina SK, 2002. Elite Indica transgenic rice plants expressing modified Cry1Ac endotoxin of *Bacillus thuringiensis* show enhanced resistance to yellow stem borer (*Scirpophaga incertulas*). *Transgenic Res.*, 11:411—423.

SAS Institute, 1990. SAS/STAT User's Guide, Version 6. SAS Institute, Cary, North Carolina.

Tu JM, Zhang GA, Data K, Xu CG, He YQ, Zhang QF, Khush GS, Datta SK, 2000. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing *Bacillus thuringiensis* δ-endotoxin. *Nat. Biotech.*, 18:1101—1104.

Ye GY, Shu QY, Yao HW, Cui HR, Cheng XY, Hu C, Xia YW, Gao MW, Altosaar I, 2001. Field evaluation of resistance of transgenic rice containing a synthetic *cryAb* gene from *Bacillus thuringiensis* Berliner to two stem borers. *J. Econ. Entomol.*, 94:271—276.

蔡万伦，石尚柏，杨长举，彭于发，全明刚，2006. 转Bt基因水稻稻谷对几种主要储藏害虫的影响. 生物技术通报，增刊:268—271.

蔡万伦，张宏宇，杨杉，杨长举，华红霞，彭于发，2008. 转Bt基因水稻稻谷对赤拟谷盗生长发育的影响. 植物保护学报，35(5):471—472.

傅强，王峰，李东虎，姚青，赖凤香，张志涛，2003. 转基因抗虫水稻MSA和MSB对非靶标害虫褐飞虱和白背飞虱的影响. 昆虫学报，46(6):697—704.

姜永厚，傅强，程家安，祝增荣，蒋明星，张志涛，2005. 转*sck*+*cry1Ac*基因水稻对二化螟及二化螟绒茧蜂存活和生长发育的影响. 昆虫学报，48(4):554—560.

焦晓国，崔旭红，张国安，2006. Bt水稻对田间非靶标害虫种群动态的影响. 昆虫知识，43(6):774—777.

李冬虎，傅强，王锋，姚青，赖凤香，吴进才，张志涛，2004. 转*sck*/*cry1Ac*双基因抗虫水稻对二化螟和稻纵卷叶螟的抗虫效果. 中国水稻科学，18(1):43—47.

李光涛，曹阳，叶恭银，刘贯力，何康来，2008. 转Bt基因抗虫稻谷对麦蛾的抗性评价. 植物保护学报，35(3):205—208.

刘雨芳，尤民生，2004. 转基因抗虫水稻对稻田捕食性节肢动物群落的影响. 2004年广东、湖南、江西、湖北四省动物学会学术研讨会论文集. 武汉：华中农业大学水产学院. 13—14.

刘志诚，叶恭银，傅强，张志涛，胡萃，2003a. 转*Cry1Ab*基因水稻对拟水狼蛛捕食作用间接影响的评价. 中国水稻科学，17(2):175—178.

刘志诚，叶恭银，胡萃，Datta SK，2003b. 转*Cry1Ab*/*Cry1Ac*基因籼稻对稻田节肢动物群落影响. 昆虫学报，46(4):454—465.

张劳，1989. 赤拟谷盗30日龄成虫体重遗传参数的估计. 遗传，11(4):25—26.